

[illegible]

1. Optische Anordnung für eine Laserdiodenanordnung mit wenigstens einer Reihe von Laserlicht aussendenden Emitterelementen (4), die in dieser Reihe mit ihrer aktiven Schicht in einer gemeinsamen Ebene (X-Z-Ebene) senkrecht zu ihrer Fast-Axis (Y-Achse) angeordnet sind, und zwar in Richtung einer Slow-Axis (X-Achse) aufeinander folgend und voneinander beabstandet, mit wenigstens einer in Strahlrichtung auf die Emitterelemente (4) folgenden, sich in der Slow-Axis (X-Achse) erstreckenden Korrekturoptik (5, 6, 18), welche als Fast-Axis- und als Slow-Axis-Kollimator wirkt, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Korrekturoptik zumindest in einem als Fast-Axis-Kollimator wirkenden Teil (5) segmentiert ist und aus mehreren in der Slow-Axis (X-Achse) aufeinanderfolgenden Korrekturoptik-Segmenten (5', 18') besteht.
2. Optische Anordnung für eine Laserdiodenanordnung mit wenigstens einer Reihe von Laserlicht aussendenden Emitterelementen (4), die in dieser Reihe mit ihrer aktiven Schicht in einer gemeinsamen Ebene (X-Z-Ebene) senkrecht zu ihrer Fast-Axis (Y-Achse) angeordnet sind, und zwar in Richtung einer Slow-Axis (X-Achse) aufeinander folgend und voneinander beabstandet, mit wenigstens einer in Strahlrichtung auf die Emitterelemente (4) folgenden, sich in der Slow-Axis (X-Achse) erstreckenden Korrekturoptik (5, 6), welche als Fast-Axis- und als Slow-Axis-Kollimator wirkt, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Korrekturoptik (18) von wenigstens einem Linsenelement (19) gebildet ist, welches als Fast-Axis-Kollimator sowie auch als Slow-Axis-Kollimator ausgeführt ist.
3. Optische Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das wenigstens eine Linsenelement (19) an der Eintrittsseite mit einer als Fast-Axis-Kollimator wirkende Linsenfläche, vorzugsweise mit einer Zylinderlinsenfläche, deren Achse in Richtung der Slow-Axis (X-Achse) liegt, und an der Austrittsseite mit

wenigstens einer als Slow-Axis-Kollimator wirkenden Linsenfläche, beispielsweise mit wenigstens einer Zylinderlinsefläche ausgebildet ist, deren Achse in der Fast-Axis (Y-Achse) liegt.

4. Laserdiodenanordnung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturoptik (18) mehrere Linsenelemente (19) aufweist, die in Richtung der Slow-Axis (X-Achse) aneinander anschließen.
5. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturoptik (18) mit den Linsenelementen (19) einstückig bzw. monolithisch hergestellt ist.
6. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Linsenelement (19) der Korrekturoptik (18) einem Emitterelement (4) zugeordnet ist.
7. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturoptik (18) segmentiert ist und aus wenigstens zwei in Richtung der Slow-Axis (X-Achse) aufeinanderfolgenden Korrekturoptik-Segmenten (18') besteht.
8. Optische Anordnung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Korrekturoptik-Segment (18') wenigstens zwei Linsenelemente (19) aufweist.
9. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturoptik-Segmente (5', 18') unabhängig justiert und fixiert sind.
10. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturoptik (5, 6, 18) die Strahlen der Emittierelemente (4) der wenigstens einer Reihe (3) in Strahlen kollimiert oder umformt, die in der Ebene der Slow-Axis (X-Achse) parallel oder etwa parallel zueinander sind.

11. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturoptik (5, 6, 18) die Strahlen der Emittierelemente (4) der wenigstens einer Reihe (3) in Strahlen kollimiert oder umformt, die in der Ebene der Slow-Axis (X-Achse) parallel oder etwa parallel zueinander sind und ohne einander zu überdecken in Richtung der Slow-Axis (X-Achse) aneinander anschließen.
12. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der als Slow-Axis-Kollimator wirkende Teil (6) der Korrekturoptik eine Vielzahl von Linsenelementen (6') aufweist, die in ihrer optischen Wirkung Zylinderlinsen entsprechen, die mit ihrer Achse in der Fast-Axis (Y-Achse) orientiert sind, die in Richtung der Slow-Axis aneinander anschließen und von denen jeweils eines einem Emittierelement (4) zugeordnet ist.
13. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturoptik zumindest einen Fast-Axis-Kollimator (5) für die wenigstens eine Reihe (3) von Emittierelementen (4) aufweist, der den segmentierten Teil der Korrekturoptik bildet und aus mehreren in der Slow-Axis (X-Achse) aufeinanderfolgenden Kollimatorsegmenten (5') besteht.
14. Optische Anordnung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Kollimatorsegmente (5') des Fast-Axis-Kollimators (5) der wenigstens einer Reihe (3) von Emittierelementen (4) unabhängig justiert und fixiert sind.
15. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturoptik zumindest einen im Strahlengang (Z-Achse) nach dem Fast-Axis-Kollimator (5) angeordneten Slow-Axis-Kollimator (6) aufweist.
16. Optische Anordnung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß, der Slow-Axis-Kollimator (6) von einer Vielzahl von Linsenelementen (6) gebildet ist, die in ihrer optischen Wirkung Zylinderlinsen entsprechen, die mit ihrer Achse in der Fast-Axis (Y-Achse) orientiert sind, die in Richtung der Slow-Axis aneinander

anschließen und von denen jeweils eines einem Emitterelement (4) zugeordnet ist.

17. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Strahlengang nach der Korrekturoptik (5, 6) eine Fokussieroptik (7, 7b, 7c) zur Fokussierung der Laserstrahlen der Emitterelemente (4) in einem gemeinsamen Fokus (8, 8b, 8c) vorgesehen ist.
18. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der segmentierte Teil (5) der Korrekturoptik zwei bis fünf Segmente (5') aufweist.
19. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Anschlußbereich oder Spalt zwischen zwei aufeinander folgenden Segmenten (5') zwischen zwei Emitterelementen (4), vorzugsweise in der Mitte oder etwa in der Mitte zwischen zwei Emitterelementen vorgesehen ist.
20. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der als Slow-Axis-Kollimator wirkende Teil (6) der Korrekturoptik oder der Slow-Axis-Kollimator (6) in einer Ebene (E) angeordnet ist, die durch die Fast-Axis (Y-Achse) und die Slow-Axis (X-Achse) definiert ist und im Strahlengang dort oder in etwa dort vorgesehen ist, wo sich die Randstrahlen der in der Slow-Axis (X-Achse) divergierenden Strahlen mit ihren Randstrahlen schneiden.
21. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der als Slow-Axis-Kollimator wirkende Teil (6) der Korrekturoptik oder der Slow-Axis-Kollimator (6) von mehreren, vorzugsweise zu einem monolithischen Slow-Axis-Kollimator (6) zusammengefaßten Zylinderlinsen (6') gebildet ist.
22. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Kollimatorsegmente (5') des Fast-Axis-Kollimators (5) Zylinderlinsen sind oder als Zylinderlinsen wirken.

23. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens zwei Reihen von Emitterelementen (4) vorgesehen sind, und daß die Reihen mit der Slow-Axis (X-Achse) der Emitterelemente (4) parallel zueinander liegen.
24. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens zwei Reihen von Emitterelementen (4) vorgesehen sind, und daß die Emitterelemente (4) der Reihen mit ihren aktiven Schichten in parallelen Ebenen angeordnet sind.
25. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens zwei Reihen von Emitterelementen (4) vorgesehen sind, und daß die Reihen zumindest in der Slow-Axis (X-Achse) gegeneinander versetzt sind.
26. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens zwei Reihen von Emitterelementen (4) vorgesehen sind, und daß in Strahlengang nach dem Fast-Axis-Kollimator (5) wenigstens ein optisches Kopplungs- und/oder Umlenkelement (14, 16, 17) vorgesehen ist, um die Laserstrahlen der Reihen zu einem gemeinsamen Strahlenbündel zusammenzuführen.
27. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens zwei Reihen von Emitterelementen (4) in wenigstens einem Stapel (9, 10) vorgesehen sind, daß die Reihen der Emitterelemente (4) im Stapel (9, 10) in Richtung der Fast-Axis (Y-Achse) gegeneinander versetzt sind, und daß für jede Reihe von Emitterelementen (4) jeweils ein gesonderter, segmentierter Teil (5) der Korrekturoptik oder segmentierter Fast-Axis-Kollimator (5) mit wenigstens zwei Segmenten (5') vorgesehen ist.
28. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei mehreren Reihen von Emitterelementen (4) für wenigstens

29. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für jede Reihe von Emitterelementen (4) eine gesonderte Korrekturoptik (5, 6) vorgesehen ist.
30. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für jede Reihe von Emitterelementen (4) ein gesonderter Slow-Axis-Kollimator (6) vorgesehen ist.
31. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Reihen von Emitterelementen (4) in wenigstens zwei Stapeln (9, 10) angeordnet sind, wobei die Reihen in jedem Stapel in Richtung der Fast-Axis (Y-Achse) gegeneinander versetzt sind.
32. Optische Anordnung nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß die wenigstens zwei Stapel (9, 10) in Richtung der Slow-Axis (X-Achse) gegeneinander versetzt sind.
33. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ebenen der Reihen der Emitterelemente (4) der wenigstens zwei Stapel in Richtung der Fast-Axis (Y-Achse) derart versetzt sind, daß die Ebenen der Reihen eines Stapels (9) zwischen Ebenen der Reihen eines anderen Stapels (10) liegen.
34. Optische Anordnung nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß eine optische Einrichtung (11) vorgesehen ist, mit der die Strahlen der Emitterelemente (4) in der Slow-Axis (X-Achse) derart verschoben werden, daß die Strahlen der Emitterelemente sämtlicher Stapel ein gemeinsames Strahlenbündel bilden.
35. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

Optische Anordnung zur Verwendung bei einer Laserdiodenanordnung sowie Laserdiodenanordnung mit einer solchen optischen Anordnung

Die Erfindung bezieht sich auf eine optische Anordnung gemäß Oberbegriff Patentanspruch 1 sowie auf eine Laserdiodenanordnung entsprechend Oberbegriff Patentanspruch 41.

Die Strahlung eines Halbleiter-Diodenlasers (hier vereinfacht auch Diodenlaser) ist durch einen stark divergierenden Strahl gekennzeichnet, und zwar im Gegensatz zu anderen konventionellen Laserstrahlquellen, deren Laserstrahl einen Durchmesser von wenigen Millimetern mit einer geringen Strahldivergenz im Bereich von wenigen mrad aufweist, während die Divergenz bei einem Diodenlaser größer als 1000 mrad ist.

Bekannt ist weiterhin auch, daß bei Diodenlasern der Divergenzwinkel in der Ebene senkrecht zur aktiven Schicht, d.h. in der sogenannten „Fast-Axis“ größer ist als in der Ebene der aktiven Schicht, d.h. in der sogenannten „Slow-Axis“.

Um eine möglichst hohe Laserleistung, beispielsweise von 20 - 40 Watt aus einem Halbleiterchip zu erreichen, werden zahlreiche Emitter auf einem sogenannten Barren zusammengefaßt. Üblicherweise werden hierbei 10 - 50 einzelne Emitter oder Emittergruppen in einer Reihe in der Ebene parallel zur aktiven Schicht, d.h. in der Slow-Axis aufeinander folgend angeordnet. Der resultierende Gesamtstrahl eines solchen Barrens hat in der Ebene parallel zur aktiven Schicht einen Öffnungswinkel von ca. 10° und einen Strahldurchmesser von ca. 10 mm. Hieraus ergibt sich eine Strahlqualität in dieser Ebene, die um ein vielfaches geringer ist als die Strahlqualität in der Ebene senkrecht zur aktiven Schicht.

Die Belegungsdichte, die sich aus dem Quotienten der strahlenden Fläche des Laserbarrens zu der Gesamtfläche ergibt, liegt bei derzeit verfügbaren Diodenlaserbarren bei ca. 30 - 50 %; wobei allerdings höhere Belegungsdichten nur

einen Impulsbetrieb des Lasers erlauben. Für kontinuierliche Anwendungen sind daher kleinere Belegungsdichten erforderlich.

Um die stark divergente Strahlung eines Diodenlasers für Laseranwendungen, beispielsweise Materialbearbeitung, Medizintechnik, Pumpen von Festkörperlasern usw. nutzbar zu machen, sind im Strahlengang kollimierende und fokussierende optische Anordnungen notwendig. Diese optischen Anordnungen umfassen in der Regel insbesondere einen als Mikrooptik ausgeführten Fast-Axis-Kollimator, der die optische Eigenschaft einer Zylinderlinse aufweist, welche mit ihrer Achse parallel zur Slow-Axis liegt, wobei für sämtliche Emittter eines Diodenlaserbarrens eine eigene, durchgehende Zylinderlinse verwendet wird, und zwar mit kleiner Brennweite in unmittelbarer Nähe der Fassade des Diodenlaserbarrens, d.h. in einem Abstand von nur wenigen 100 μ m von den Emitttern bzw. von dieser Fassade. Die Korrektur der Divergenz in der Slow-Axis erfolgt dann durch eine nachfolgende Makro-Optik.

Zur Erzielung höherer Leistungen, wie sie z.B. in der Materialbearbeitung, in der Medizintechnik, für das Pumpen von Festkörperlasern usw. notwendig sind, ist es weiterhin auch bekannt, mehrere Reihen von Emitttern oder mehrere Diodenlaserbarren in einem Stapel in mehreren Ebenen übereinander vorzusehen, wobei diese Ebenen in Richtung der Fast-Axis gegeneinander versetzt sind und jeder Reihe von Emitttern bzw. jedem Diodenlaserbarren jeder Ebene ein eigener Fast-Axis-Kollimator zugeordnet ist.

Bekannt ist speziell auch eine Laserdiodenanordnung (US 5 802 092), bei der der Slow-Axis-Kollimator von einer Vielzahl von in Richtung der Slow-Axis aufeinander folgenden Zylinderlinsenelementen gebildet ist, die mit ihren Achsen jeweils in der Fast-Axis angeordnet sind und von denen jeweils ein Element jeweils einem Emittter einer Reihe von Emitttern zugeordnet ist. Die Anordnung ist weiterhin so getroffen, daß die mit den Zylinderlinsenelementen in der Ebene der Slow-Axis kollimierten, parallelen oder im wesentlich parallelen Strahlen die einzelnen Emittter unmittelbar aneinander anschließen, so daß ein Strahlenbündel mit einem hohen Füllfaktor erreicht ist, das dann mit Hilfe einer Fokussierlinse in einem Brennpunkt fokussiert werden

Eine optimale Fokussierung der Strahlung sämtlicher Emmitter in einem gemeinsamen Fokus erfordert aber eine optimale Fast-Axis-Kollimation und hiermit eine möglichst parallele Ausrichtung der einzelnen Strahlen der Emmitter der jeweiligen Reihe bzw. des jeweiligen Barrens derart, daß die Emmitter nach dieser Fast-Axis-Kollimation auf einer möglichst geraden Linie abgebildet werden könnten. Dies ist aber in der Regel in idealer Form nicht realisierbar, und zwar wegen Nicht-Konformitäten, d.h.

Abweichungen der Konformität zwischen Diodenlaserbarren und Fast-Axis-Kollimator. Diese Abweichungen können unterschiedlichen Ursprungs sein, beispielsweise bedingt durch Fertigungstoleranzen und/oder Verformung bei der Montage usw.. Derartige Nicht-Konformitäten, die auch bei dem Stand der Technik nicht vermieden sind, führen zu einer Verbreiterung des Fokus in der Fast-Axis und damit zu einer Verschlechterung der Strahlenqualität im Fokus.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine optische Anordnung sowie eine Laserdiodenanordnung mit einer solchen optischen Anordnung aufzuzeigen, die diese Nachteile vermeidet. Zur Lösung dieser Aufgabe ist eine optische Anordnung entsprechend dem Patentanspruch 1 und eine Laserdiodenanordnung entsprechend dem Patentanspruch 41 ausgebildet.

Durch die Aufteilung zumindest des als Fast-Axis-Kollimator wirkenden Teils der Korrekturoptik der wenigstens einer Reihe von Emmitterelementen in mehrere Segmente können durch Nicht-Konformitäten zwischen Diodenlaserbarren bzw. zwischen der Reihe von Emmitterelementen und der Korrekturoptik bedingte Verschlechterungen der Strahlqualität im Fokus, insbesondere Verbreiterung des Fokus, wirksam vermieden werden.

Nach einem weiteren Aspekt bezieht sich die Erfindung auf eine besondere Ausbildung der Korrekturoptik in der Weise, daß diese von wenigstens einem Linsenelement, vorzugsweise aber von mehreren, in Richtung der Slow-Axis aneinander anschließenden Linsenelementen gebildet ist, das bzw. die sowohl als Fast-Axis-Kollimator bzw. als Slow-Axis-Kollimator wirken, wobei beide Wirkungen

vorzugsweise jeweils in einem einzigen Linsenkörper des jeweiligen Linsenelementes realisiert sind. Jedes Linsenelement kann aber auch von mehreren im Strahlengang aufeinander folgenden Linsen realisiert sein. Bestehen die Linsenelemente jeweils nur aus einem einzigen Linsenkörper, so besteht weiterhin auch die Möglichkeit, die gesamte Korrekturoptik oder aber die Segmente dieser Optik jeweils einstückig bzw. monolithisch herzustellen.

Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die Erfindung wird im folgenden anhand der Figuren an Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 in vereinfachter Darstellung und in Draufsicht, eine mit mehreren an einem Diodenlaserbarren (Chip) in der Zeichenebene der Figur 1 (X-Z Ebene) in einer Koordinatenrichtung (X-Achse) aufeinander folgend vorgesehenen Emittlern, sowie mit einer optischen Anordnung zur Kollimation und Fokussierung der Strahlen der einzelnen Emittler in einem gemeinsamen Fokus;
- Fig. 2 in vereinfachter Darstellung und in Seitenansicht die Laserdiodenanordnung der Figur 1;
- Fig. 3 eine Darstellung ähnlich Figur 1 bei einer weiteren möglichen Ausführungsform;
- Fig. 4 in vereinfachter Darstellung und in Draufsicht eine weitere mögliche Ausführungsform einer Laserdiodenanordnung gemäß der Erfindung, mit zwei in Richtung der ersten Koordinatenachse (X-Achse) gegeneinander versetzten Stapeln von Diodenlaserbarren, die wiederum jeweils in der Zeichenebene der Figur 4 angeordnet sind, sowie mit einer optischen Anordnung zur Kollimation und zur Fokussierung der Strahlen sämtlicher Emittler in einem gemeinsamen Brennpunkt;
- Fig. 5 in vereinfachter Darstellung eine Seitenansicht der Laserdiodenanordnung der Figur 4;
- Fig. 6 eine Darstellung ähnlich Figur 2 zur Erläuterung des Einflusses von Nichtkonformitäten zwischen einem Diodenlaserbarren und einem Fast-Axis-Kollimators auf die Qualität des Fokus bei der Laserdiodenanordnung der

Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laserdiodenanordnung;

Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Laserdiodenanordnung;

Fig. 13 und 14 in Darstellungen entsprechend den Figuren 1 und 2 eine weitere mögliche Ausführung der erfindungsgemäßen Laserdiodenanordnung.

In den Figuren 1 und 2 ist eine Laserdiodenanordnung dargestellt, die u.a. aus einem auf einem Kühler 2 (Wärmesenke) angeordneten Diodenlaserbarren 3 besteht, der als Halbleiterchip mit einer Vielzahl von Laserlicht aussendenden Emittern 5 hergestellt ist, die mit ihrer aktiven Schicht im Idealfall in einer gemeinsamen Ebene liegen, nämlich bei der für die Figuren 1 und 2 gewählten Darstellung in der X-Z-Ebene, und in einer in dieser Ebene verlaufenden Achsrichtung aufeinander folgend, d.h. bei der für die Figuren gewählten Darstellung in der Y-Achse aufeinander folgend und voneinander beabstandet am Halbleiterchip bzw. Barren 3 vorgesehen sind. Bei der dargestellten Ausführungsform ist der Laserbarren 3 hinsichtlich der Erstreckung der einzelnen Emittter 4 in Richtung der X-Achse und des Abstandes zwischen diesen Emittern in dieser Achse so ausgebildet, daß sich eine Belegungsichte kleiner 10% ergibt, d.h. weniger als 10% der Gesamtlänge, die der Barren 3 in Richtung der X-Achse aufweist, ist von den Emittern 4 eingenommen, während der übrige Teil der Länge des Laserbarren 3 nicht strahlend ist.

Die einzelnen Emittier 4 liefern einen Laserstrahl, der sowohl in der Fast-Axis, d.h. in der Y-Achse, als auch in der Slow-Axis, d.h. in der X-Achse eine Divergenz aufweist.

Wie die Figur 2 zeigt, werden durch den Fast-Axis-Kollimator 5 aus den in der Fast-Axis (Y-Achse) divergierenden Strahlen in der Ebene dieser Fast-Axis parallele Strahlen erzeugt, die allerdings noch in der Slow-Axis, d.h. in der X-Achse eine Divergenz aufweist. Der Fast-Axis-Kollimator 5 besteht bei der dargestellten Ausführungsform aus zwei Segmenten 5', die in Richtung der X-Achse aneinander anschließen, deren Übergang zwischen zwei Emittlern an einem nicht aktiven Teil des Laserbarren 3 vorgesehen ist und die jeweils in ihrer Wirkung einer mit ihrer Achse in Richtung der X-Achse sich erstreckenden Zylinderlinse entsprechen. Die beiden Elemente 5' sind individuell bzw. unabhängig voneinander justierbar, und zwar insbesondere durch Höhenverstellung in der Y-Achse sowie durch Kippen um die Z-Achse. Auch in den anderen Achsen können die optischen Elemente 5' individuell justierbar sein. Bei der dargestellten Ausführungsform sind die Elemente 5' tatsächlich Mikro-Zylinderlinsen.

Der Slow-Axis-Kollimator 6 besteht aus mehreren optischen Elementen 6', die in ihrer Wirkung jeweils einer Zylinderlinse entsprechen, die mit ihrer Achse in der Fast-Axis, d.h. bei der gewählten Darstellung in der Y-Achse angeordnet sind. Die Ausbildung ist weiterhin so getroffen, daß für jeden Emitter 4 ein derartiges Elemente 6' vorgesehen ist. Außerdem ist der Slow-Axis-Kollimator 6 in einer Ebene E senkrecht zum Strahlengang, d.h. senkrecht zur Z-Achse angeordnet, an der sich die Randstrahlen der in der Slow-Axis divergierenden Strahlen benachbarter Emitter 4 schneiden. Außerdem ist das Rastermaß, in welchem die Elemente 6' am Slow-Axis-Kollimator 6 in der Slow-Axis (X-Achse) aufeinander folgend vorgesehen sind gleich dem Rastermaß der Emitter 4 am Laserbarren 3. Die Elemente 6' schließen in Richtung der Slow-Axis unmittelbar aneinander an.

Wie die Figur 1 zeigt, werden mit den Elementen 6' die in der Slow-Axis divergierenden Strahlen der Emitter 4 in Strahlen umgewandelt, die in der Ebene der Slow-Axis (X-Z-Ebene) parallel verlaufen, so daß dann die sowohl in der Fast-Axis, als auch in der Slow-Axis kollimierten Strahlen mittels der Fokussieroptik 7 in dem gemeinsamen Fokus 8 fokussiert werden können.

Die einzelnen Elemente 6' sind bevorzugt zu einem monolithischen Kollimator 6 zusammengefaßt. Durch die relativ geringe Belegungsdichte der Laserbarren 3 ist es in der vorbeschriebenen Weise möglich, für jeden Emitter 4 ein Element 6' vorzusehen. Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, bei mehreren am Laserbarren 3 gebildeten Emittergruppen, die jeweils wenigstens zwei dicht nebeneinander angeordnete Emitter 4 aufweisen und die dann in einem größeren Abstand voneinander in Richtung der Fast-Axis versetzt vorgesehen sind, für jede dieser Emittergruppen ein gemeinsames optisches Element 6' vorzusehen.

In der Figur 1 ist mit 8' die Leistungsverteilung im Fokus 8 in Richtung der Slow-Axis (X-Achse) wiedergegeben. Entsprechend ist in der Figur 2 mit 8'' die Verteilung der Leistung im Fokus 8 in der Fast-Axis (Y-Achse) wiedergegeben. Wie oben ausgeführt wurde, kann es durch Abweichungen bzw. Toleranzen zwischen Fast-Axis-Kollimator 5 und Laserbarren 3 zu Fehlern kommen, die dann zu einer Verbreiterung des Fokus 8 in der Fast-Axis führen, wie dies in der Figur 6 mit den unterbrochenen Linien des Strahlungsverlaufs und mit der Verteilung 8''' angedeutet ist. Um diese Fehler zu reduzieren und um den gewünschten, in beiden Achsen gleichen Fokusbereich zu erreichen, ist eine individuelle Justierung der Elemente 5' vorgesehen, mit der dann derartige Toleranzen in der Formgebung der Elemente 5' und des Laserbarren 3 ausgeglichen werden können.

Durch die Segmentierung des Fast-Axis-Kollimators 5 ist es also möglich, für die beiden, den Elementen 5' jeweils zugeordneten Abschnitte des Laserbarren 3 eine optimale Kollimation und Fokussierung zu erreichen. Bezüglich der Qualität des Fokus 8 ist dann nur noch die Formabweichung zwischen dem jeweiligen Element 5' und

Bei der Laserdiodenanordnung 1 ist die Segmentierung so getroffen, daß sämtliche Emittter 4 auf nutzbare Flächen des Fast-Axis-Kollimators 5 strahlen, d.h. die Anschlußbereiche bzw. Spalten zwischen den anschließenden Elementen 5' jeweils zwischen zwei am Laserbarren 3 aufeinander folgenden Emitttern 4 liegen.

Auch eine andere Segmentierung des Fast-Axis-Kollimators ist selbstverständlich möglich. Bei einem Laserbarren 3 mit z.B. 100 Emittern 4 ist beispielsweise eine zweifache bis fünffache Segmentierung zweckmäßig.

Die Figuren 4 und 5 zeigen als weitere Ausführungsform eine Laserdiodenanordnung 1b, bei der die Laserbarren 3 mit ihren zugehörigen Kühlkörpern 2 in zwei Stapeln 9 und 10 angeordnet. Die Stapel 9 und 10 sind hierbei in Richtung der X-Achse gegeneinander versetzt. In jedem Stapel sind die Laserbarren mit der aktiven Ebene der Emitter 4 in der X-Z-Ebene angeordnet, so daß bei der Darstellung dieser Figuren die Fast-Axis sämtlicher Emitter 4 wiederum die Y-Achse ist und die Emitter 4 an jedem Barren 3 in Richtung der X-Achse aufeinander folgen. In jedem Stapel 9 sind die

Die in der Ebene der Fast-Axis und der Slow-Axis kollimierten parallelen Strahlen der einzelnen Emittor 4 werden dann über eine für beide Stapel 9 und 10 gemeinsame Fokussieroptik 7b in den gemeinsamen Fokus 8 fokussiert. Auch bei dieser Ausführung, mit der eine besonders hohe Leistung erreichbar ist, kann durch die individuelle Justierbarkeit der einzelnen Elemente 5' die Strahlenqualität bzw. die Qualität des Fokus 8 wesentlich verbessert werden.

Bei der Laserdiodenanordnung 1b sind, wie vorstehend beschrieben, für die einzelnen Stapellagen 9' und 10' jeweils gesonderte Slow-Axis-Kollimatoren 6 vorgesehen.

Hierdurch ist es möglich, diese Kollimatoren 6 in jeder Stapellage individuell in bezug auf den zugehörigen Laserbarren 3 bzw. die dortigen Emitter 4 zu justieren, womit wiederum eine wesentliche Verbesserung der Strahlqualität bzw. des Fokus 8 möglich ist.

Bei der Laserdiodenanordnung 1b ist jeweils eine Stapellage 9' des Stapels 9 in einer gemeinsamen X-Z-Ebene mit einer Stapellage 10' des Stapels 10 angeordnet.

Die Figuren 7 und 8 zeigen als weitere Möglichkeit eine Laserdiodenanordnung 1c, bei der die Ebenen der Stapellagen 9' und 10' und damit die Ebenen der Laserbarren 3 (X-Z-Ebenen) im Stapel 9 gegenüber den entsprechenden Ebenen im Stapel 10 um den halben Abstand y versetzt sind. Durch ein zwischen den Slow-Axis-Kollimatoren 6 und der Fokussier-Optik 7c angeordnetes optisches Element 11 werden die Strahlen der Emitter 4 der Stapellagen 9' und 10' in Richtung der X-Achse kammartig derart übereinandergeschoben, daß im Strahlengang nach dem optischen Element 11 in Richtung der Fast-Axis (Y-Achse) jeweils auf eine Ebene der Strahlen der Stapellage 9' eine Ebene der Strahlen der Stapellage 10' folgt usw.. Das so erzeugte Strahlenbündel wird dann über die gemeinsame Fokussieroptik 7' in den gemeinsamen Fokus fokussiert.

Der einfacheren Darstellung wegen sind in den Figuren 7 und 8 die beiden Stapel 9 und 10 so gezeigt, daß jeder Stapel nur zwei Stapellagen 9' bzw. 10' aufweist, insgesamt also vier Stapellagen und damit auch vier Ebenen vorgesehen sind, in denen Diodenlaserbarren 3 angeordnet sind (Anzahl der Stapel multipliziert mit der Anzahl der Diodenlaserbarren 3 in jedem Stapel).

Die optische Anordnung 11 besteht aus mehreren plattenförmigen Prismen 12 und 13, die in Draufsicht jeweils rechteckförmig ausgebildet sind, und zwar mit gleicher Größe und die mit ihren größeren Oberflächenseiten senkrecht zur Fast-Axis (Y-Achse) orientiert sind und in dieser Achsrichtung übereinandergestapelt aneinander anschließen, und zwar derart, daß jeweils einem Prisma 12 ein Prisma 13 benachbart ist.

Anstelle des optischen Elementes 11 bzw. der Prismen 12 und 13 können auch andere optische Elemente oder Einrichtungen verwendet werden.

Während bei den Laserdiodenanordnungen 1, 1a und 1b im wesentlichen eine Erhöhung des Füllfaktors in dem beispielsweise der Fokussieroptik 7 bzw. 7b zugeführten Gesamtstrahl in der Slow-Axis (X-Achse) erreicht wird, ergibt sich bei der Laserdiodenanordnung 1c durch das kammartige Übereinanderschieben der Laserstrahlen der beiden Stapel 9 und 10 mittels des optischen Elementes 11 auch eine Erhöhung des Füllfaktors in der Fast-Axis (Y-Achse). Verfügen die beiden Stapel 9 und 10 beispielsweise über einen Füllfaktor von 50% in der Fast-Axis (Y-Achse), so ist es mit der Laserdiodenanordnung 1c beispielsweise möglich, die Strahlung der benachbarten Stapel 9 und 10 in ein gemeinsames Strahlungsfeld mit einem optischen Füllfaktor von nahezu 100% zu transferieren. Die Längsseiten der plattenförmigen Prismen 12 und 13 bilden an jedem Prisma parallele Eintritts- und Austrittsflächen, durch die der parallele Versatz bzw. das parallele Verschieben der Laserstrahlen erreicht wird.

Durch die Steigung des Füllfaktors des Strahlenbündels wird bei gleicher Leistung eine Verringerung des Durchmessers des Strahlenbündels erreicht und damit die Strahlqualität, die als Produkt aus Strahldurchmesser und Strahldivergenz definiert ist, bei gleichbleibender Leistung verbessert. Weiterhin wird durch Reduzierung des Durchmessers des Strahlenbündels auch eine nachfolgende Fokussiereinrichtung vereinfacht.

Die Abbildungen 9 - 11 zeigen als weitere mögliche Ausführungen Laserdiodenanordnungen 1d, 1e und 1f. Bei der Laserdiodenanordnung 1d sind zwei Diodenlaserbarren 3 mit jeweils einem segmentierten Fast-Axis-Kollimator 5 und einem zugehörigen Slow-Axis-Kollimator 6 um 90° versetzt an einem vom einem Prismenwürfel gebildeten Kopplungselement 14 vorgesehen. Durch geeignete dielektrische Filterbeschichtungen auf der unter 45° angeordneten Verbindungsfläche 15 ist die Kombination oder Kopplung von Diodenlaserbarren unterschiedlicher Wellenlänge mittels Kantenfilter bzw. mittels verschiedener Polarisationsrichtungen mit Polarisationsfiltern möglich.

Bei der Laserdiodenanordnung 1e der Figur 10 sind drei Kopplungselemente 14 dargestellt, und zwar zur Kopplung bzw. Kombination von vier Diodenlaserbarren 3 mit jeweils einem eigenen, segmentierten Fast-Axis-Kollimator 5 und einem eigenen Slow-Axis-Kollimator 6. Insbesondere bei dieser Ausführung mit mehr als zwei Diodenlaserbarren 3 sind auch Abwandlungen denkbar, bei denen nicht nur ausschließlich eine Wellenlängenkopplung oder Polarisationskopplung, sondern auch Kombinationen hiervon verwendet werden.

Die Figur 11 zeigt schließlich als weitere mögliche Ausführungsform eine Laserdiodenanordnung 1f, bei der zusätzlich zu den Kopplungselementen 14 noch Umlenkelemente 16 bzw. 17 verwendet sind, die beispielsweise Umlenkprismen oder Umlenkspiegel sind und die dann eine parallele Anordnung der Laserdiodenbarren 3, der zugehörigen, segmentierten Fast-Axis-Kollimatoren 5 und Slow-Axis-Kollimatoren 6 erlaubt.

Es versteht sich, daß bei den Laserdiodenanordnungen 1d - 1f auch jeweils den Stapeln 9 bzw. 10 entsprechende Stapel mit Stapellagen 9' bzw. 10' verwendet sein können, wobei jede Stapellage wenigstens einen Diodenlaserbarren 3, einen zugehörigen, segmentierten Fast-Axis-Kollimator 5 und einen Slow-Axis-Kollimator 6 aufweist. Bei entsprechender Ausbildung der Koppelemente 14 und/oder der Umlenkelemente 16 und 17 und bei entsprechend versetzter Anordnung der Stapellagen von Stapel zu Stapel ist es dann auch möglich, die Strahlen zumindest einzelner Diodenlaserbarren 3 unterschiedlicher Stapel zur Erhöhung des Füllfaktors in der Fast-Axis kammartig übereinander zu schieben, wie dies vorstehend für die Laserdiodenanordnung 1c der Figuren 7 und 8 beschrieben wurde und zwar ggf. zusätzlich zu einer Wellenlängen und/oder Polarisationskopplung.

Die Figur 12 zeigt in einer Darstellung ähnlich den Figuren 9 - 11 als weitere mögliche Ausführungsform eine Laserdiodenanordnung 1g, bei der die Laserdiodenanordnung 1c der Figuren 7 und 8 zweifach vorgesehen ist und die Strahlenbündel der beiden optischen Anordnungen 11 über ein optisches Kopplungselement 14 mittels Wellenlängen- und/oder Polarisations-Multiplexing zu einem gemeinsamen Strahlenbündel mit einem besonders hohen Füllfaktor zusammengefaßt werden. Das optische Kopplungselement 14 ist dann beispielsweise wiederum ein solches, wie es vorstehend im Zusammenhang mit den Figuren 9 - 11 beschrieben wurde.

Während bei den Ausführungen der Figuren 1 - 12 davon ausgegangen wurde, daß der Fast-Axis-Kollimator 5 und der Slow-Axis-Kollimator 6 der jeweiligen Korrekturoptik diskrete optische Bauelemente sind, zeigen die Figuren 13 und 14 als weitere mögliche Ausführungsform eine Laserdiodenanordnung 1h, die wiederum auf wenigstens einem Kühler 2 wenigstens einen Diodenlaserbarren 3 mit den Emitttern 4 aufweist und bei der im Strahlengang (Z-Achse) auf den Diodenlaserbarren folgend eine Korrekturoptik 18 vorgesehen ist. Diese ist wiederum in Richtung der Slow-Axis (X-Achse) zweifach segmentiert, d.h. sie weist in dieser Achsrichtung zwei aneinander anschließende Segmente 18', von denen zumindest eines individuell im bezug auf den Diodenlaserbarren 3 bzw. die dortigen Emitter justierbar ist.

Jedes Segment 18' besteht aus mehreren Einzellinsen oder Linsenelementen 19, die z.B. monolithische zu den betreffenden Segment 18' zusammengefaßt oder aber als tatsächliche Einzellinsen zu dem betreffenden Segment 18' verbunden sind. Jede Einzellinse 19 hat die Funktion eines Fast-Axis-Kollimators und eines Slow-Axis-Kollimators, und zwar bei der dargestellten Ausführungsform speziell derart, daß die Strahlen der einzelnen Emitter 4 im Strahlengang nach der Korrekturoptik 18 in der Ebene der Slow-Axis parallel oder in etwa parallele Strahlen sind und weiterhin die Strahlen benachbarter Emitter 4 möglichst dicht, allerdings ohne Strahlüberlappung, in Richtung der Slow-Axis (X-Achse) aneinander anschließen. Jedes Linsenelement 19 ist einem Emitter 4 zugeordnet und beispielsweise derart ausgebildet, daß es an seiner Eintrittsfläche eine für die Fast-Axis wirksame Zylinderlinsenfläche und an der Austrittsfläche eine in der Slow-Axis wirkende Zylinderlinsenfläche bildet.

Die Korrektur von Nichtkonformitäten zwischen Diodenlaserbarren 3 und Korrekturoptik 18 erfolgt bei der Laserdiodenanordnung 1h durch entsprechende Justierung der Segmente 18'.

Es versteht sich, daß die Korrekturoptik 18 insbesondere dann, wenn ein Ausgleich von Nichtkonformitäten zwischen dieser Korrekturoptik und dem jeweiligen Diodenlaserbarren 3 nicht erforderlich ist, auch einstückig, d.h. nichtsegmentiert ausgeführt sein kann. Es versteht sich weiterhin, daß die Korrekturoptik 18 selbstverständlich auch bei Laserdiodenanordnungen verwendet werden kann, bei denen zwei oder mehr als zwei Diodenlaserbarren 3, beispielsweise auch in einem oder mehreren Stapeln vorgesehen sind, wobei dann vorzugsweise für jeden Diodenlaserbarren eine eigene Korrekturoptik 18 vorgesehen ist.

Die Erfindung wurde voranstehend an Ausführungsbeispielen beschrieben. Es versteht sich, daß zahlreiche Änderungen sowie Abwandlungen möglich sind, ohne daß damit der der Erfindung zugrundeliegende Erfindungsgedanke verlassen wird. So ist es beispielsweise auch möglich, anstelle von an Laserbarren 3 gebildeten Emitttern 4 individuelle Laserdioden mit jeweils nur einem Emitter aufweisen und die dann an einem geeigneten Träger, insbesondere Kühler 2 den Emitttern 4 entsprechend in

Figure 1. The effect of the concentration of the *Agaricus bisporus* spores on the growth of *Agaricus bisporus* on the substrate. The concentration of the spores was 10⁴ spores/ml (1), 10⁵ spores/ml (2), 10⁶ spores/ml (3), 10⁷ spores/ml (4), 10⁸ spores/ml (5), 10⁹ spores/ml (6), 10¹⁰ spores/ml (7), 10¹¹ spores/ml (8), 10¹² spores/ml (9), 10¹³ spores/ml (10), 10¹⁴ spores/ml (11), 10¹⁵ spores/ml (12). The growth of *Agaricus bisporus* was measured by the diameter of the mycelium (mm) after 7 days of incubation at 25°C. The data are the mean ± SD of three replicates.

Bezugszeichenliste

1, 1a, 1b, 1c, 1d, 1e, 1f, 1g, 1h	Laserdiodenanordnung
2	Kühler
3	Diodenlaserbarren
4	Emitter
5	Fast-Axis-Kollimator
5'	optisches Element
6	Slow-Axis-Kollimator
6'	optisches Element
7, 7b	Fokussieroptik
8, 8b	Fokus
9, 10	Stapel
9', 10'	Stapellage
11	optische Anordnung
12, 13	Plattenprisma
14	optisches Kopplungselement, beispielsweise Prismenwürfel
15	die elektrische Filterbeschichtung
16, 17	Umlenkelement, beispielsweise Umlenkprisma oder Umlenkspiegel
18	Korrekturoptik
18'	Segment der Korrekturoptik
19	Linsenelement
X-Achse	
Y-Achse	
Z-Achse	
X-Y-Ebene	
Y-Z-Ebene	
y = Abstand	
M	Mittelebene

09641570-081800